Chapter (1)

Physics of MOSFET Transistor

- MOSFET structure
- MOSFET operation
- MOSFET characteristics
- MOSFET models
  - Large signal model
  - Small signal model

لّا إِلَهَ إِلاَّ أَنتَ سُبْحَانَكَ إِنِّي كُنتُ مِنَ الظَّالِمِينَ

في هذا الباب سوف نتعرف على نوع جديد من أنواع Transistor

وهو MOSFET ، وهذا النوع له مميزات في الاستخدام عن

BJT ، سوف يتم تلخيصها في آخر الباب . وسوف يتم دراسته مثل

BJT من حيث التركيب (structure) والعمل (operation)

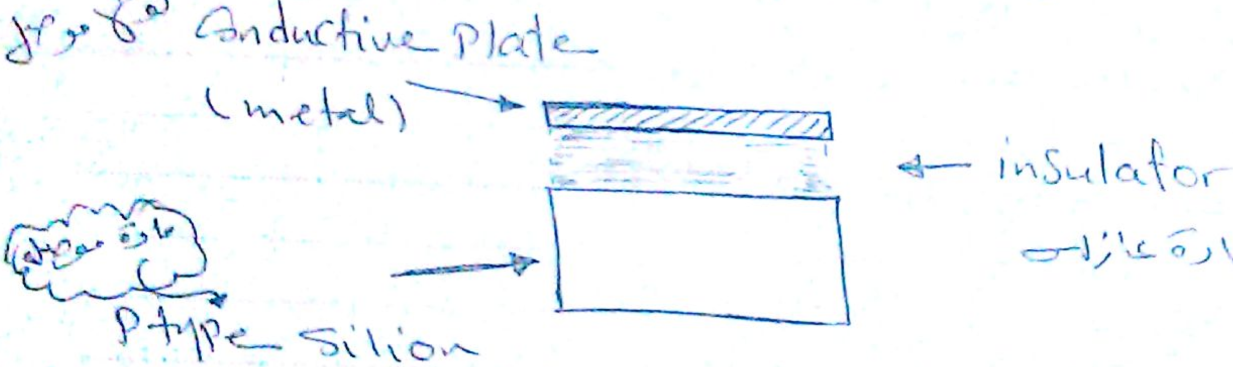
وسوف يتم إيجاد model الخاص به التي يتم عمل analysis له

مثل BJT

تركيب
Structure of MOSFET

في البداية حتى نفهم التركيب والعمل سوف يتم شرح نموذج مصغر

وبعد ذلك سوف يتم دراسة تركيب MOSFET.

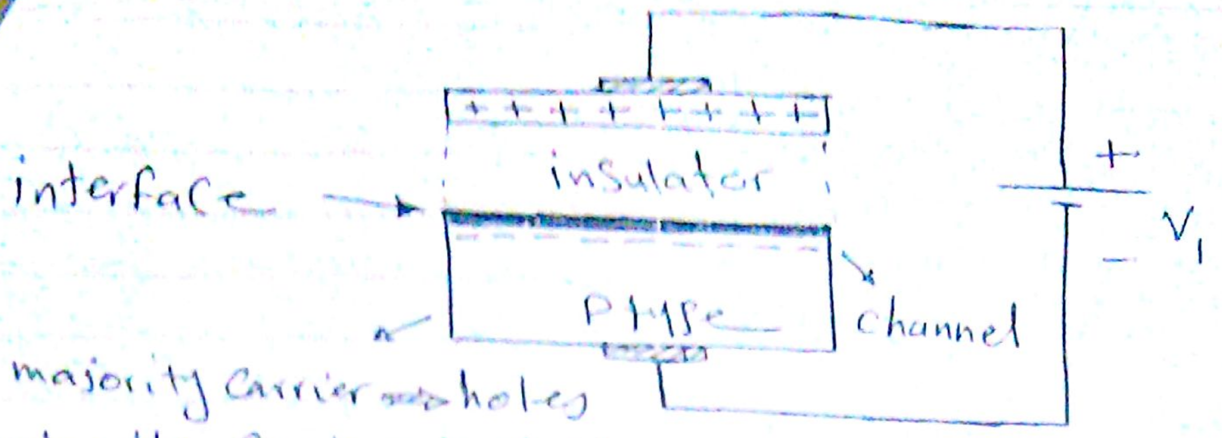


نلاحظ من الشكل السابق أنه يعمل كـ Capacitor

What happen if a potential difference is applied?

ماذا يحدث لو تم تسليط فرق جهد على الألواح في الشكل السابق.

كما بالشكل التالي.



majority carrier ⟹ holes
minority carrier ⟹ electrons

- Positive charge is placed on the top plate

الشحنات الموجبة سوف توضع على اللوح العلوي.

- Positive charge attracts negative charge (electrons) from Ptype.

هذه الشحنات الموجبة سوف تجذب الإلكترونات السالبة الموجودة في .Ptype

- Channel of free electrons may be created at the interface between the insulator and Ptype Silicon.

سوف تكون قناة من الإلكترونات الحرة عند السطح الفاصل

بين المادة العازلة ومادة السليكون.

وهذه الإلكترونات الحرة سوف تمثل good conductive path

مسار موصل جيد لو كان الـ electron density الموجودة كبيرة في

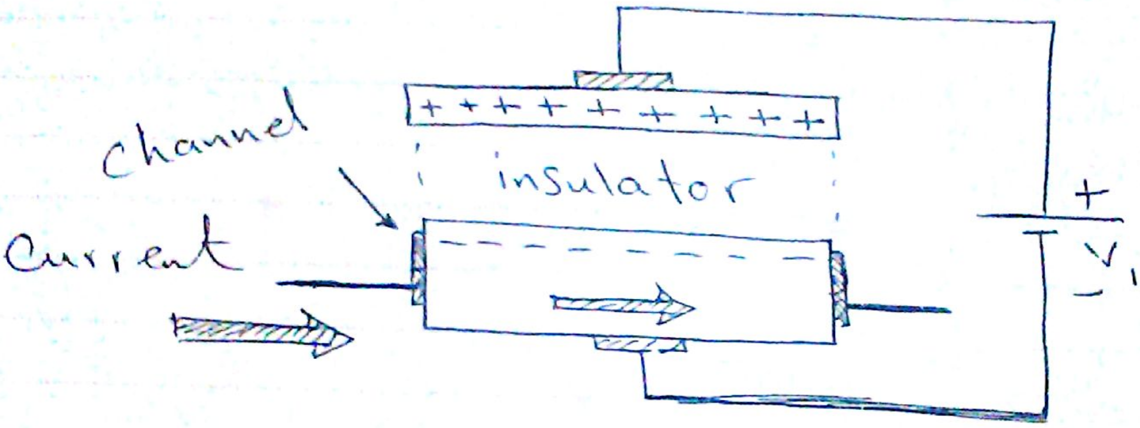
هذه .Channel

the density of electrons in the Channel varies with V_1. حيث الكثافة تعتمد على الجهد (V_1)

$$\therefore Q = C\,V$$

- Q → الشحنة
- C → Capacitance between two Plate
- V → the Voltage difference between two Plates.

من القانون السابق نلاحظ أن الكثافة تعتمد على الجهد V



في الشكل السابق عند مرور التيار الموصل بين الطرفين يعتمد على وجود channel.

$\therefore V_1$ Control the Current by adjusting the resistivity of channel.

لذلك الجهد V_1 يتحكم في مرور التيار عن طريق ضبط المقاومة الخاصة بـ channel. لذلك الشكل السابق يمثل

Voltage Controlled Current Source

$$V_1 \xrightarrow{\text{Controls}} I \text{ (Current)}.$$

$\therefore Q = C\,V$ (Controle)

must be maximized

$C \Rightarrow$ maximized (reducing the thickness of dielectric $< 20\,\mathring{A}$ (today) يكون أكبر ما يمكن

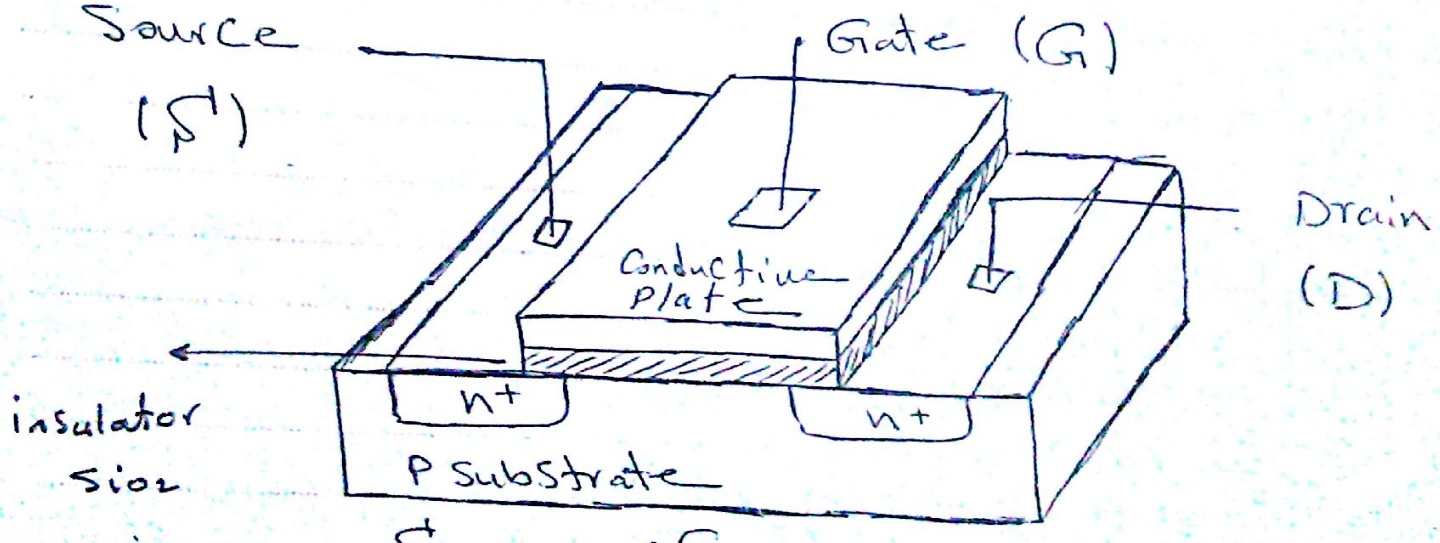
سوف ندرس تركيب MOSFET

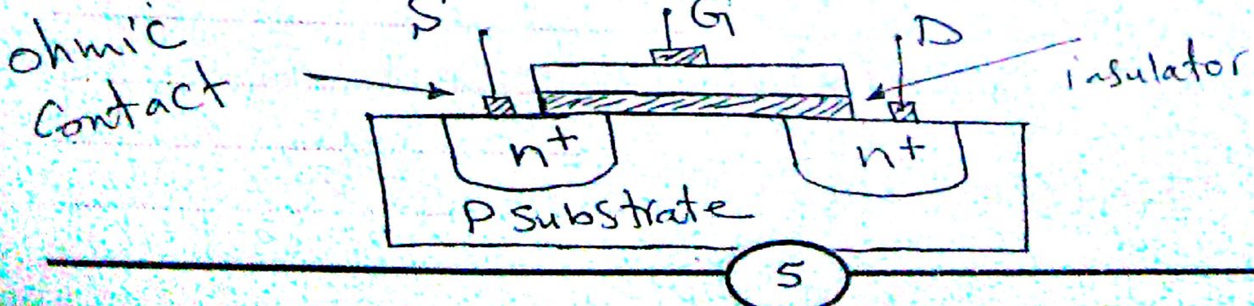
لصعوبة توضيح الـ السابقة

• MOSFET Structure

MOSFET

- M → metal
- O → oxide
- S → Semiconductor
- F → Field
- E → effect
- T → Transistor





نلاحظ من الشكل السابق انه يتركب من

- gate → Conductive plate لوح موصل
- Substrate → P type silicon

To allow current flow through it.

حيث انه تسمح بمرور التيار حيث تتكون بها channel.

- Source & Drain

heavily doped n type regions (n^+)

عبارة عن n type ولكن ذات doping عالى.

Source → Provide charge carriers

هو الذى يعطى الشحنات.

Drain → absorb charge carriers

سوف يمتص الشحنات الخارجة من Source

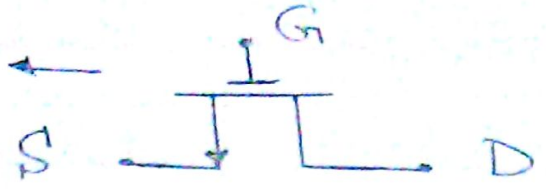
- eletrical insulator material → silicon dioxide (SiO_2)

عازل كهربائى بين Substrate & gate.

ملحوظة : فى الشكل السابق التى channel التى تتكون سوف تتكون بشحنات سالبة (electrons) ولذلك يسمى هنا النوع

N MOSFET = n channel MOSFET

Symbol of NMOSFET



نلاحظ وجود هنا الفراغ ليعبر ←
ان Gate معزول.

له هذا الرسم موجود علشان Source

Notes . ملاحظات

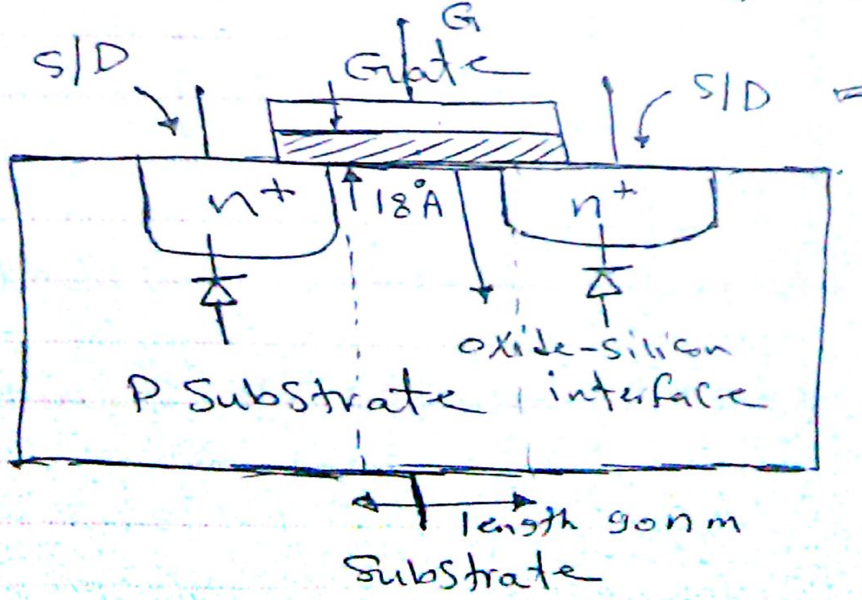
- gate Plate ⇒ good Conductor in fact (ذو طبيعة موصل جيد) realized by Poly silicon (low resistivity) (مصنوع من)

- dielectric layer between the gate and Substrate ⇒ (عازل) silicon dioxide (SiO_2)

مادة عازلة .

. نلاحظ أيضا أن Source & Drain تشكل مع Ptype

- PN Junctions (or) Diodes ⟸ Substrate



S/D ⇒ طرفين كل منهم
(Source|Drain)
الحكم انهم ليهم نفس الشكل
الفيزيائي .

نلاحظ من الشكل السابق أن الـ MOSFET له أربعة أطراف

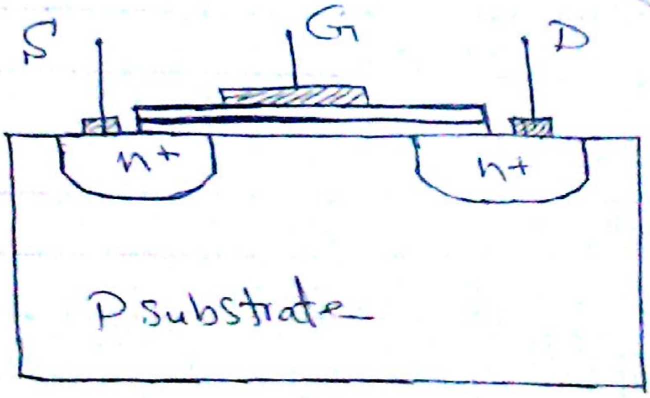
Source & Drain & Gate & Substrate ⟸ (terminals)

لازم احفظهم

- For Proper operation of transistor must be these Junction reversed biased.

لكي يعمل هنا الـ MOSFET بطريقة سليمة لابد أن تكون هذه الـ Junctions في وضع reverse . وهذا يتم عن طريق توصيل الـ Substrate ← Source . حيث أن دائماً D أعلى في الجهد من S . ولذلك يكون الـ MOSFET له ثلاثة أطراف وليس أربعة أطراف.

Operation of MOSFET



- MOSFET Conduct Current between Source and Drain if the channel of electrons is Created

يتم توصيل التيار بين S, D عندما تكون Channel.

- Channel making when the gate Voltage Sufficiently Positive هنا channel سوف تتكون تلقائيا

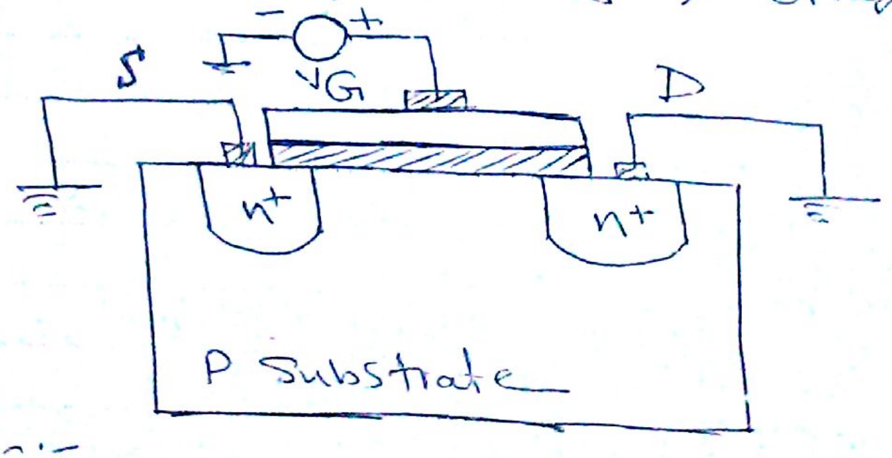
الجهد الموجب على Gate موجود وكان لتكوين هذه channel.

ملحوظة: دائما Gate Current يساوي صفر لأن ال Gate معزولة عن substrate بواسطة SiO_2

لكن لعمل الحل نفرض أولاً أن.

Source and drain are Ground and applied a Positive Voltage to the gate.

S & D ⟹ Ground & G ⟹ Positive Voltage



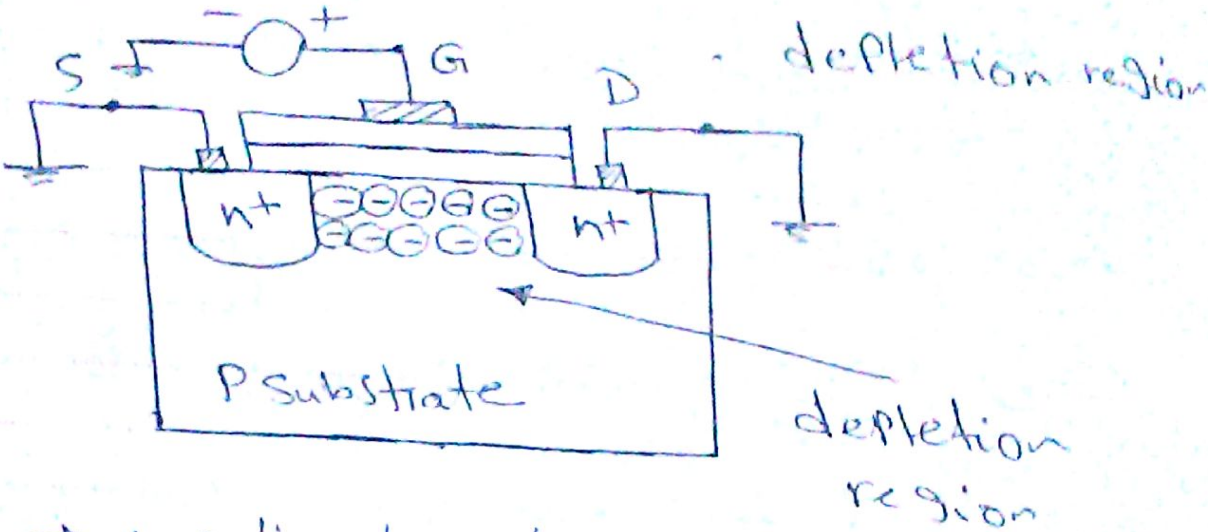
- VG rises (تزيد) Positive charge on the gate

بمعنى كلما زاد ال VG على ال gate شحنات موجبة

- VG increased from Zero the Positive charge on the gate reples (تطرد) the holes in the Substrate

ترحيل
so that exposing negative ions and Creating depletion region.

مع زيادة الجهد VG ، استقطاب الشحنات الموجبة الموجودة على Gate سوف تطرد holes في substrate وتترك ايونات سالبة مكونة



ملحوظة
Note ⇒ negative ions immobile charge
شحنات غير متحركة

وهنا في الحالة لا يوجد channel لذلك لا يوجد مرور للتيار.

No Current Can flow from Source to Drain

∴ MOSFET is off

- Can the Source Substrate and drain Substrate Junctions Carry Current in this mode?

هل P.N Junctions اللي اتكلمنا عليها ممكن ان تمرر تيار

أتجنب
To avoid this effect substrate tied to Zero
مربوط

∴ Diodes not forward Biased

- What happens as VG increases?

ماذا يحدث مع زيادة الجهد VG.

more negative ions are increased so that region under the oxide becomes deeper.
منطقة الأكثر

depletion سوف تزداد الأيونات السالبة وبذلك تزداد region

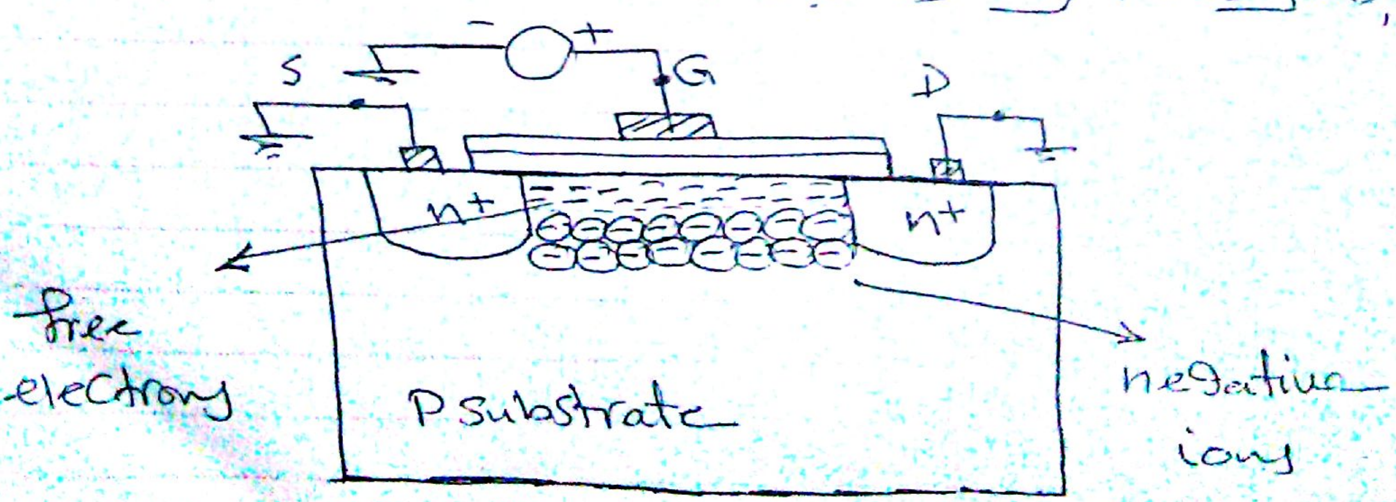
- Does this means the transistor never turns on? هل هذا معناه أن MOSFET يظل دائماً off.

No. if VG becomes sufficient positive
كافي

عندما يصبح VG قيمة موجبة كافية

∴ free electrons are attracted to the oxide silicon interface forming a conductive channel.
تشكل

الإلكترونات الحرة سوف تنجذب بمشكلة channel.



We say the MOSFET on

the gate Potential at which the channel begins
الجهد الحرج
To appear is Called "threshold Voltage" (V_{TH})

الجهد V_G الذي عنده يبدأ ظهور أو تكون الـ channel يسمى V_{TH}

$V_{TH} \Rightarrow$ range (300 mV – 500 mV)

- the Current that will flow through channel when a voltage V_D is applied

هو تيار يمر خلال channel عندما يتم تطبيق جهد على Drain

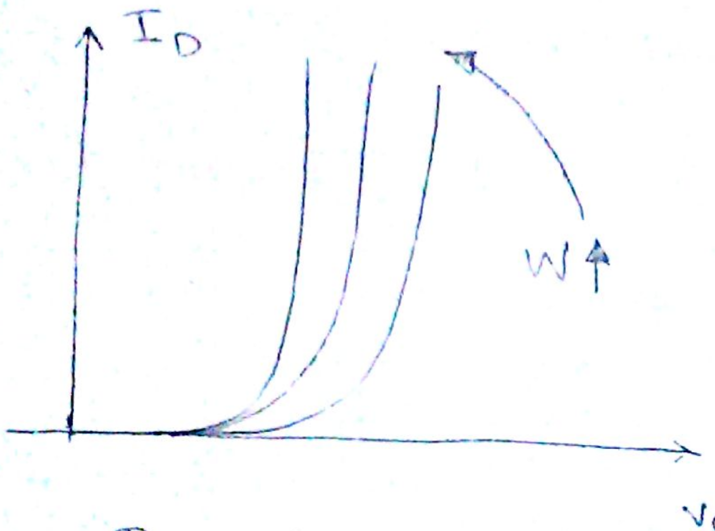
How does the gate width impact (تؤثر) the I-V characteristics ?

$$\therefore A = W \times h$$

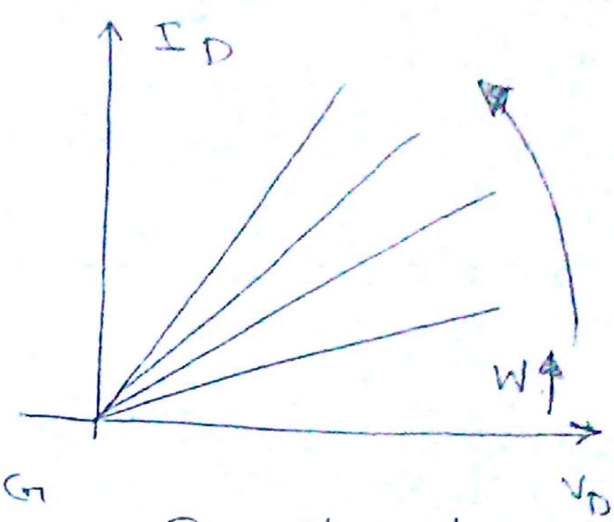
$A \downarrow$ channel مساحة — $h \searrow$ channel عمق

$$\therefore R_{on} = \frac{\rho L}{A}$$

$\therefore W \uparrow \quad A \uparrow \quad \therefore R_{on} \downarrow \quad \therefore \text{Slope} \uparrow$



$I_D - V_G$ C/C



$I_D - V_D$ C/C

⇛ Channel Pinch off

this effect arises (تنشأ) from the gradual (تدريجي) voltage drop along the channel resistance.

هذه الظاهرة تنشأ من أن الجهد الهابط على طول الـ channel يتغير من نقطة إلى أخرى.

MOSFET as a variable resistor

channel between S and D as resistor. the value of this resistor changes with Gate voltage.

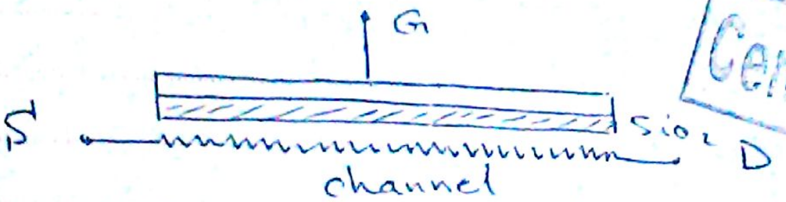
الـchannel بين (Source) و (Drain) عبارة عن مقاومة وقيمة هذه المقاومة تتغير حسب VG (Gate Voltage)

$V_G \uparrow$ ∴ desity of electron $\uparrow$

∴ Channel resistor $\downarrow$

(i.e) MOSFET is Voltage dependent resistor

الـMOSFET عبارة عن مقاومة تعتمد على الجهد

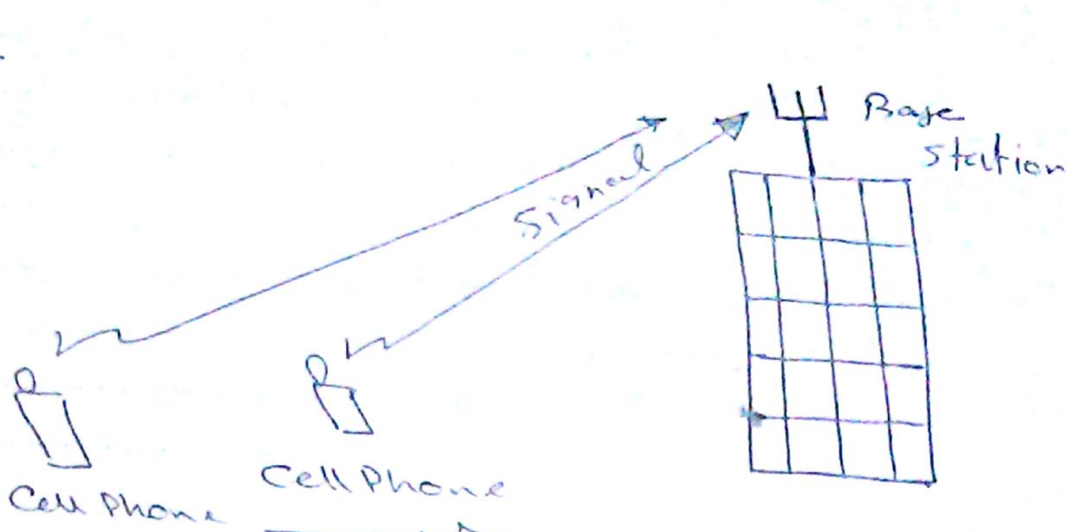


EX.1.1 الجواب

in the vicinity of a wireless base station the signal received by a cell phone may become very strong. Possibly (ممكن) "saturating" the circuits and prohibiting (تمنع) proper operation (العمل الصحيح). Devise (أقترح) a variable gain circuit (صمم اداة) that lowers (تقلل) the signal level as the cell phone

approaches the (اقترب) Base station.

Solution



كلما اقترب الإشارة أقوى.

هذا المثال توضيحي يبين استخدام MOSFET ك Variable resistor

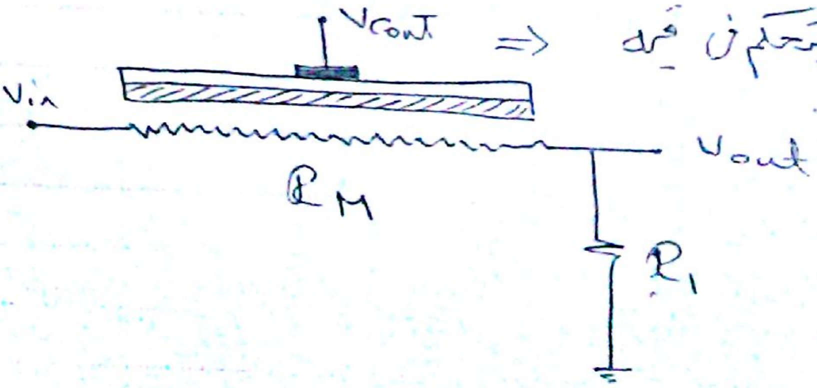
هذا المحمول كلما اقترب من البرج سوف تكون الإشارة أقوى مما يؤدي

إلى دمار أو تلف الدوائر الموجودة داخل البرج لذلك ينصح باستخدام

دائرة تعمل على خفض هذه الإشارة. يمكن استخدام (MOSFET)

ك مقاومة متغيرة.

Using MOSFET as Voltage Controlled resistor



$$\therefore V_{out} = V_{in} * \frac{R_1}{R_M + R_1}$$

$\therefore V_{out} \downarrow \therefore$ density of election in channel $\downarrow$

$\therefore R_M \uparrow \qquad \therefore V_{out} \downarrow$

(attenuator) ← دي أداة تسمى

Note:-

may be using MOSFET as voltage dependent resistor in " Variable gain Amplifier "

ممكن استخدام MOSFET كـ مقاومة متغيرة في دائرة Amplifier

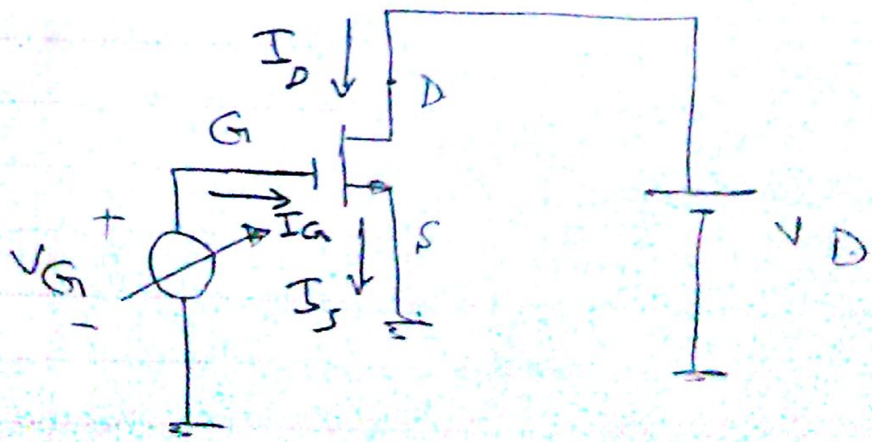
حيث ممكن الحصول منه على (gain) متغير

⇨ MOSFET characteristic Curve

* ID - VG characteristic Curve

"دائماً"

$I_G = 0$

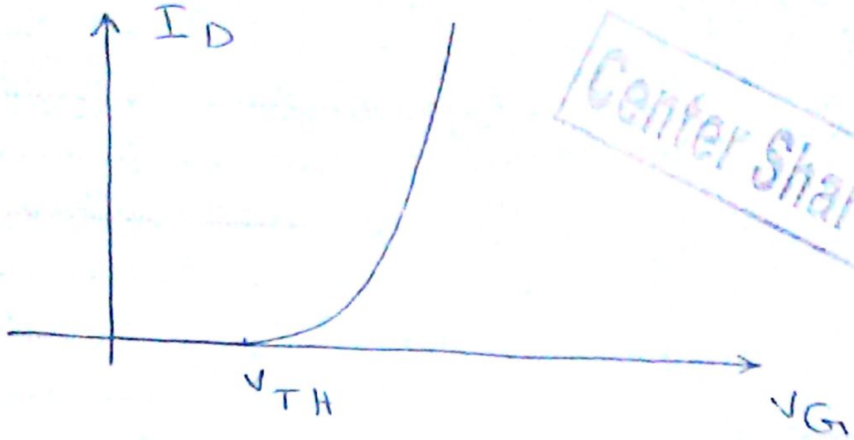


* if $V_G < V_{TH}$ $\therefore$ no channel exists (الـ channel مش موجودة)

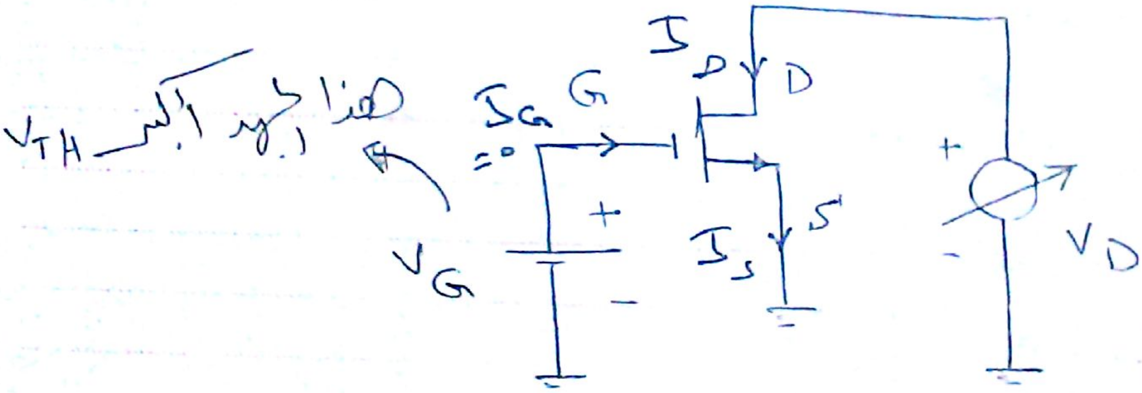
∴ MOSFET off

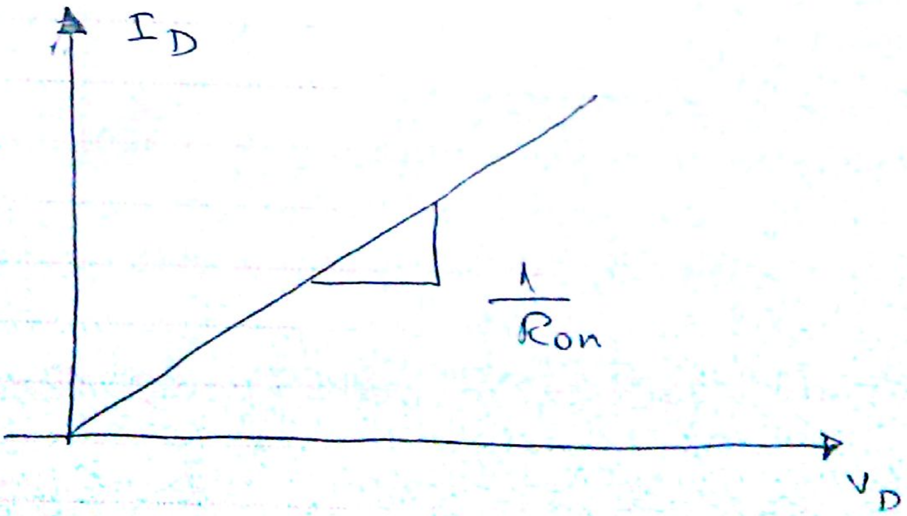
∴ $I_D = 0 \longrightarrow (V_D)$ لازم فيه

* if $V_G > V_{TH}$ ∴ $I_D > 0$



* $I_D - V_D$ characteristic curve





يعتبر

Source - Drain Path → (Simple resistor)

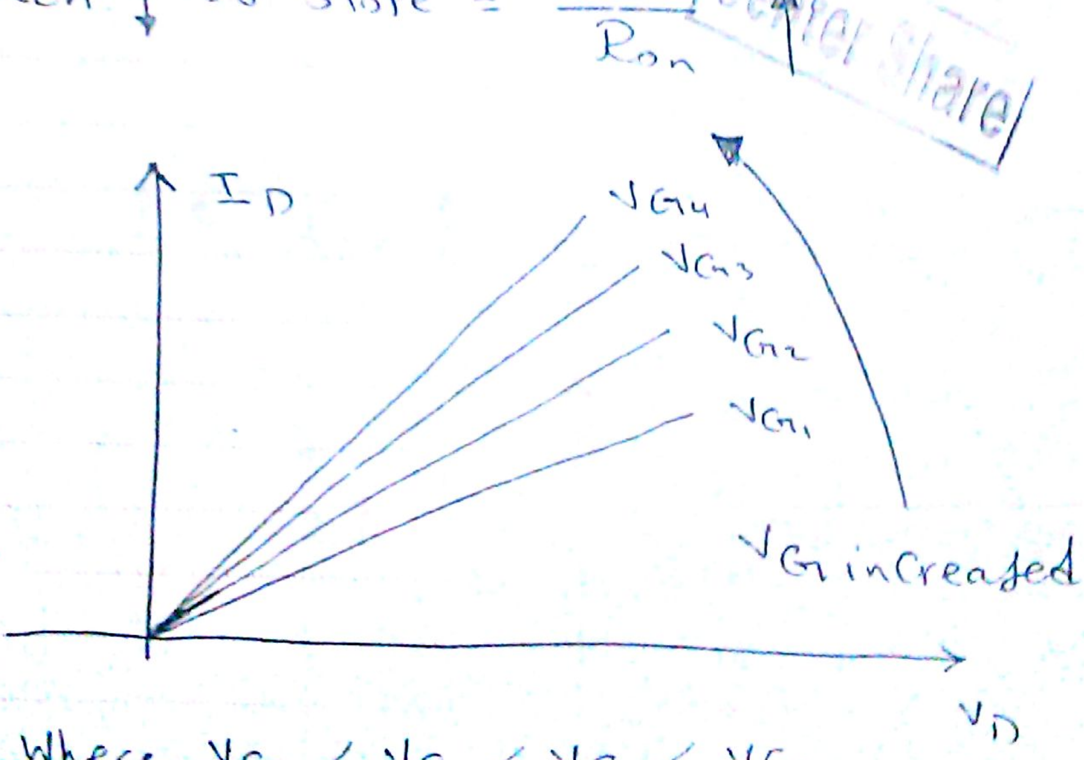
R_{on} ≡ "on resistor" of MOSFET

on-resistor (R_{on}) = resistor between the Source and drain. (Drain) & (Source) المقاومة ما بين

* What happen for I_D & V_D c/c when V_G is increased. ماذا يحدث للمنحنى لما نغير (V_G)

∴ V_G ↑ ∴ electron density of channel ↑

∴ R_{on} ↓ ∴ Slope = $\frac{1}{R_{on}}$



Where $V_{G1} < V_{G2} < V_{G3} < V_{G4}$

Note:- How about the Transport mechanism in MOSFET ? كيف تتنقل الشحنات داخل MOSFET

حيث أن لو طبقنا جهد على كل من طرفي (D) و (S) سوف يتولد

مجال كهربي على طول (channel) لذلك تتم حركة عن طريق (drift)

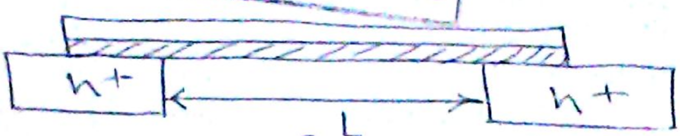
EX. 1.2

Sketch I_D – V_G and I_D – V_D characteristics for (a) different channel lengths.

(b) different oxide thickness.

Solution

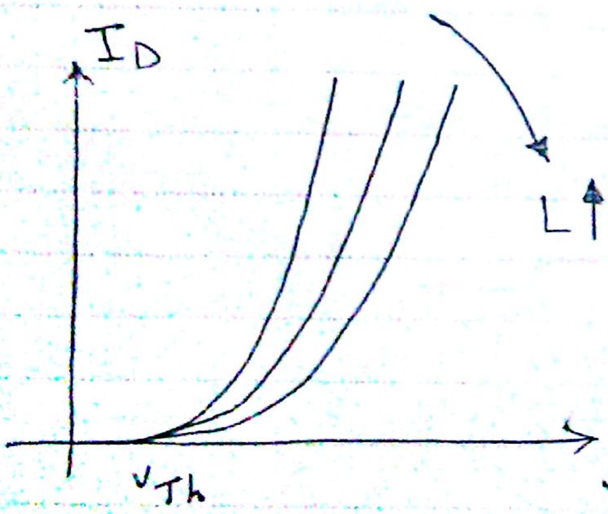
(a)



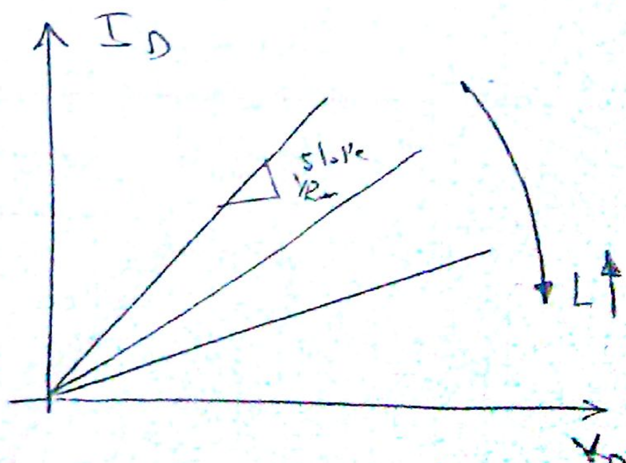
R_{on}

$R_{on} = \frac{\rho L}{A}$ → channel length

$\therefore L\uparrow \quad R_{on}\uparrow \quad \therefore \text{Slope} = \frac{1}{R_{on}} \downarrow$

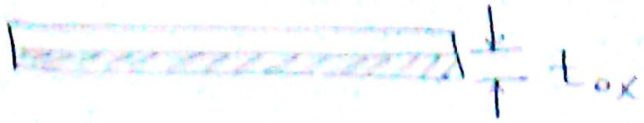


I_D – V_G c/c



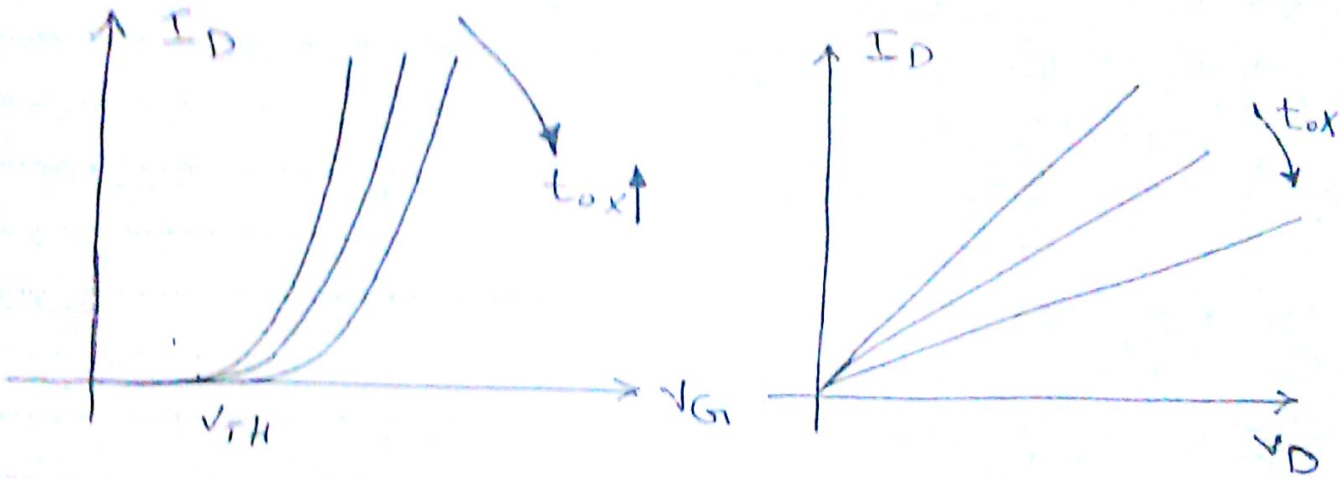
I_D – V_D c/c

(b) different oxide thickness



$t_{ox}\uparrow \Rightarrow C\downarrow$ (Capacitance between the Gate and silicon substrate)

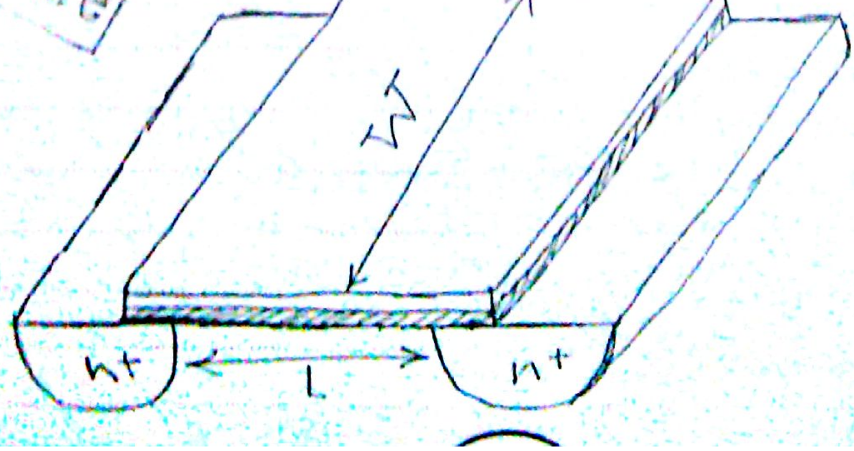
$\therefore I_D = C'V\downarrow \Rightarrow R_{on}\uparrow \Rightarrow$ slope $\downarrow$



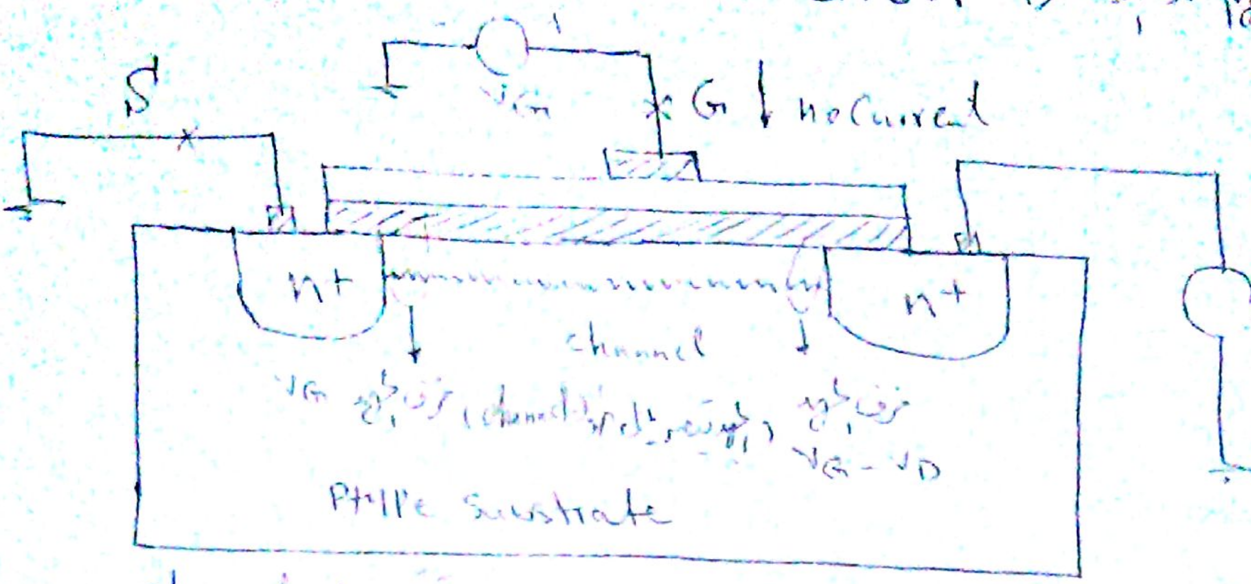
$I_D - V_G$ c/c $\qquad$ $I_D - V_D$ c/c

x من الأشياء الأخرى التي تؤثر على (c|c) ⇐ W

W ⇒ width of Transistor or Gate width.



To understand this effect . نفهم الكلام ده



وهنا مهم إن علشان $V_G > V_{TH}$ عشان يتكون channel.

When $V_G > V_{TH}$ so MOSFET acts as voltage dependent resistor.

علشان كده MOSFET بيعمل كـ مقاومة تعتمد على الجهد

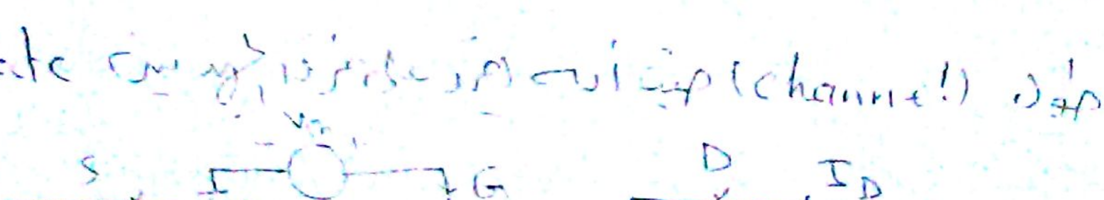
والكرسي الكلام بيقل ونلاحظ إن الجهد على طول الـ channel مش ثابت وده علشان بيقل

 إلا أصغر، وزاد كل ما اتجهنا ناحية الـ D.

وبما إن الجهد على الـ (Gate) (Gate voltage) ثابت (Constant)

وهنا نلاحظ إن channel depth (عمق الـ channel) غير منتظم (nonuniform)

على طول الـ (channel) بين أي نقطة في الـ substrate, Gate



ملحوظة لما الـ channel موجودة لازم $(V_G - V(x)) > V_{TH}$

عند أي نقطة في الـ channel

When V_D (increased) $\uparrow$

$\therefore$ the channel depth decreases at drain

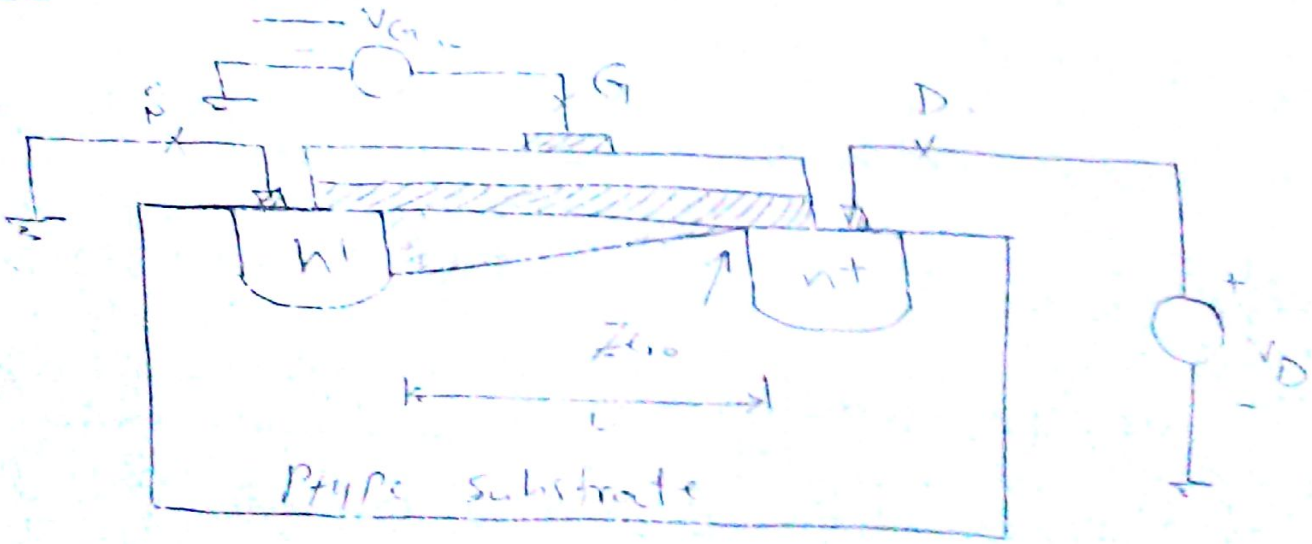
When $V_G - V_D = V_{TH}$

$\therefore$ the channel depth at the drain end decreases to almost zero

كلما زاد الجهد (D) يقل عمق الـ channel عند الـ Drain لحد ما

توصل إلى $(V_G - V_D) = V_{TH}$ يصبح عمق الـ channel تقريبا صفر

$\therefore$ the channel is said to be **Pinched off**

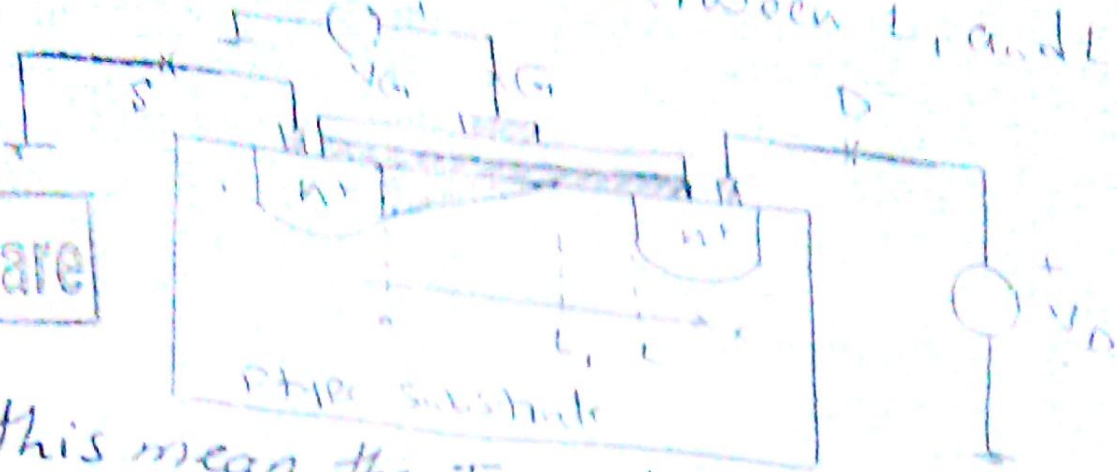


Pinch off at $\boxed{V_G - V_D = V_{TH}}$

or $\boxed{V_D = V_G - V_{TH}}$

∴ When $V_D > V_G - V_{TH}$

∴ MOSFET No channel between L and L



Does this mean the Transistor Cannot conduct Current ?

هل معنى ان الـ MOSFET لن يوصل (تيار) [illegible]

No. MOSFET conducts.

[illegible] الـ channel [illegible]

[illegible] الشحنات [illegible]

الى D [illegible] (electric field)

Pinch off [illegible]

ملحوظة : [illegible] (MOSFET) [illegible]

Constant Current Source) [illegible]

[illegible] I_D [illegible]

⇨ <u>Derivation of I-V characteristics</u>

* Channel Charge density.

require an expression for channel charge

(free electrons) per unit length ≡ channel density

يعني بإيجاد علاقة لـ (الشحنات الموجودة في الـ channel لكل وحدة طول)

نسميها ← channel density

$$\text{channel density} = \frac{\text{Channel charge}}{\text{unit length}}$$

$\therefore q = C \, V$

$C \equiv$ Gate Capacitance per unit length

$V \equiv$ Voltage difference between Gate and channel

$\therefore q \Longrightarrow$ charge density. (وحدة)

$C_{ox} \equiv$ gate Capacitance per unit area (F/m^2)

المكثف اللي بين الـ Gate و channel

$\therefore C = W \, C_{ox}$

C ↓ Capacitor per unit length

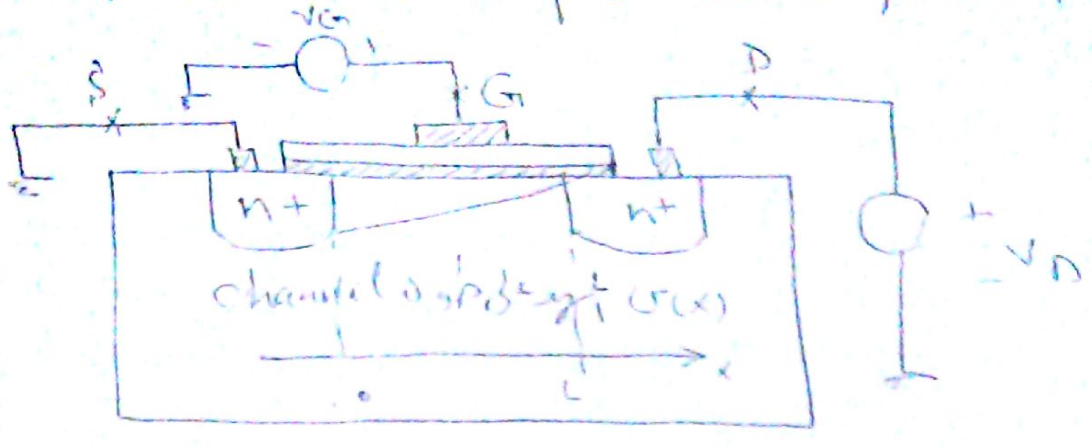
W → width of MOSFET

ملحوظة: حيث أن غالباً ما يتم توصيل الـ Source ← (Ground)

$\therefore V_G = V_{GS}$ و $V_D = V_{DS}$

لذلك نكتب دائماً V_{GS} و V_{DS}

Q charge density = Coulomb / meter



($V_{GS} - V(x) - V_{TH}$) ← channel

$\therefore Q(x) = W C_{ox} [V_{GS} - V(x) - V_{TH}]$

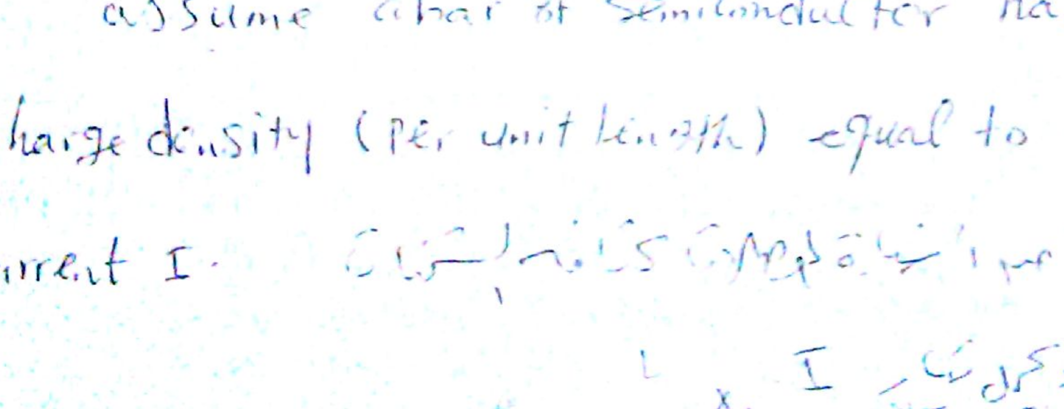
$0 < V(x) < V_D$

⇨ Drain Current

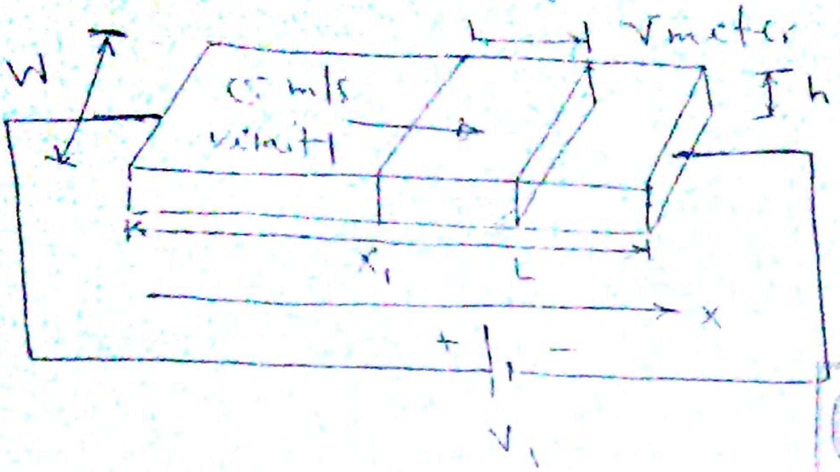
What relation between the mobile charge density and the current ?

assume a bar of semiconductor having a uniform charge density (per unit length) equal to Q and carrying current I.

L I Q



$t = t_1 + 1\,sec$



$\therefore$ I = Total charge that passes through the cross section of the bar in one second

إننا جبنا عدد مجموع الشحنات اللي هتعدي من المقطع في الثانية

$$\therefore I = \frac{Q \times V}{T = 1\,sec} \longrightarrow$$ طول

$Q \rightarrow$ الشحنة لكل وحدة طول

$$\therefore v = \frac{V}{T = 1\,sec}$$ سرعة = مسافة / زمن

$\therefore v = V$

$$\therefore I = \underset{\text{الشحنة}}{Q} \times \underset{\text{سرعة}}{v}$$

$I = Q \times v \longrightarrow *$

عشان أنا ليه بقول ده في MOSFET ⇐ (drift Current)

$\therefore v = -\mu_n E \longrightarrow$ electric field
$\quad \hookrightarrow$ electron mobility

$$\therefore v = +\mu_n \frac{dV(x)}{dx} \longrightarrow (1)$$

$$\therefore Q(x) = W C_{ox} [V_{GS} - V(x) - V_{TH}] \longrightarrow (2)$$

من المعادلات (1) ، (2) ، (*)

$$\therefore I_D = W C_{ox} [V_{GS} - V(x) - V_{TH}] \mu_n \frac{dV(x)}{dx}$$

المراد إيجاد I_D بدلالة terminal Voltages (V_{GS} & V_{DS})

من المعادلات السابقة

$$I_D \times dx = W C_{ox} [V_{GS} - V(x) - V_{TH}] \mu_n \, dV(x)$$

$$\therefore \int_{x=0}^{x=L} I_D \, dx = \int_{V(x)=0}^{V(x)=V_{DS}} \mu_n C_{ox} W [V_{GS} - V(x) - V_{TH}] \, dV(x)$$

$$\therefore I_D \times L = \mu_n C_{ox} W \left[V_{GS} V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} - V_{TH} V_{DS} \right]$$

$$\therefore I_D \times L = \mu_n C_{ox} W \left[(V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

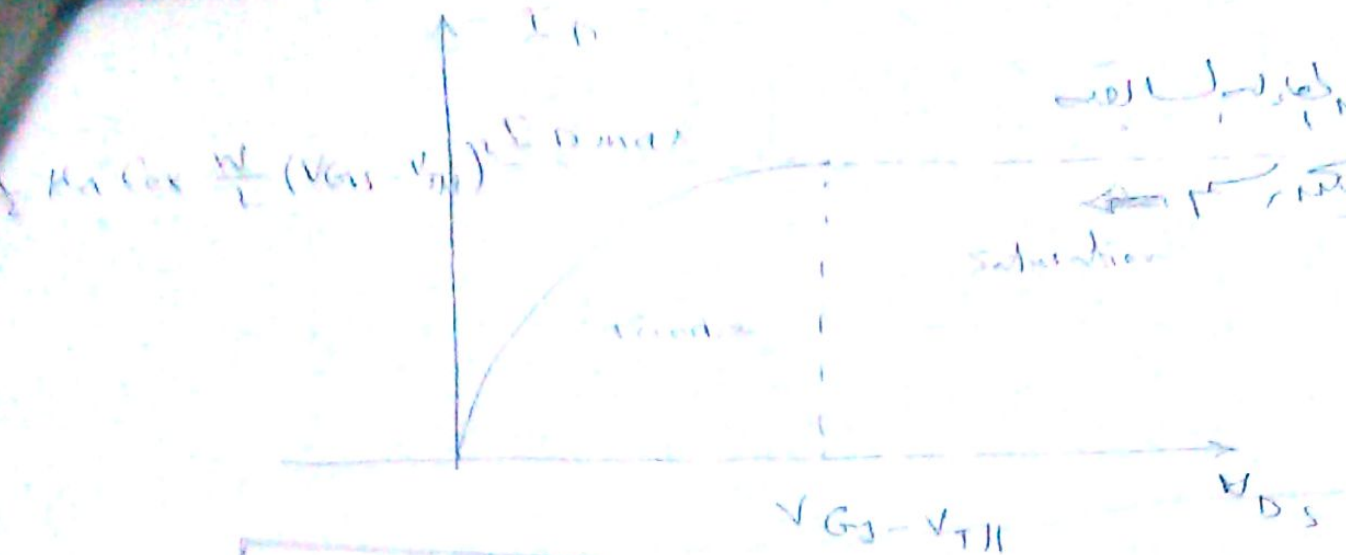
$$\therefore I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \left[2 (V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - V_{DS}^2 \right]$$

$$I_D \propto \left(\mu_n \; \& \; C_{ox} \; \& \; \frac{W}{L} \right)$$

نسبة

W/L Called (aspect ratio)

$W/L = \frac{\text{عرض}}{\text{طول}}$ ويمكن التحكم فيها



عند (Pinch off)

at Pinch off $V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$

يصبح اقصى تيار

$$\therefore I_{Dmax} = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS}-V_{TH})^2$$

EX. 1.3

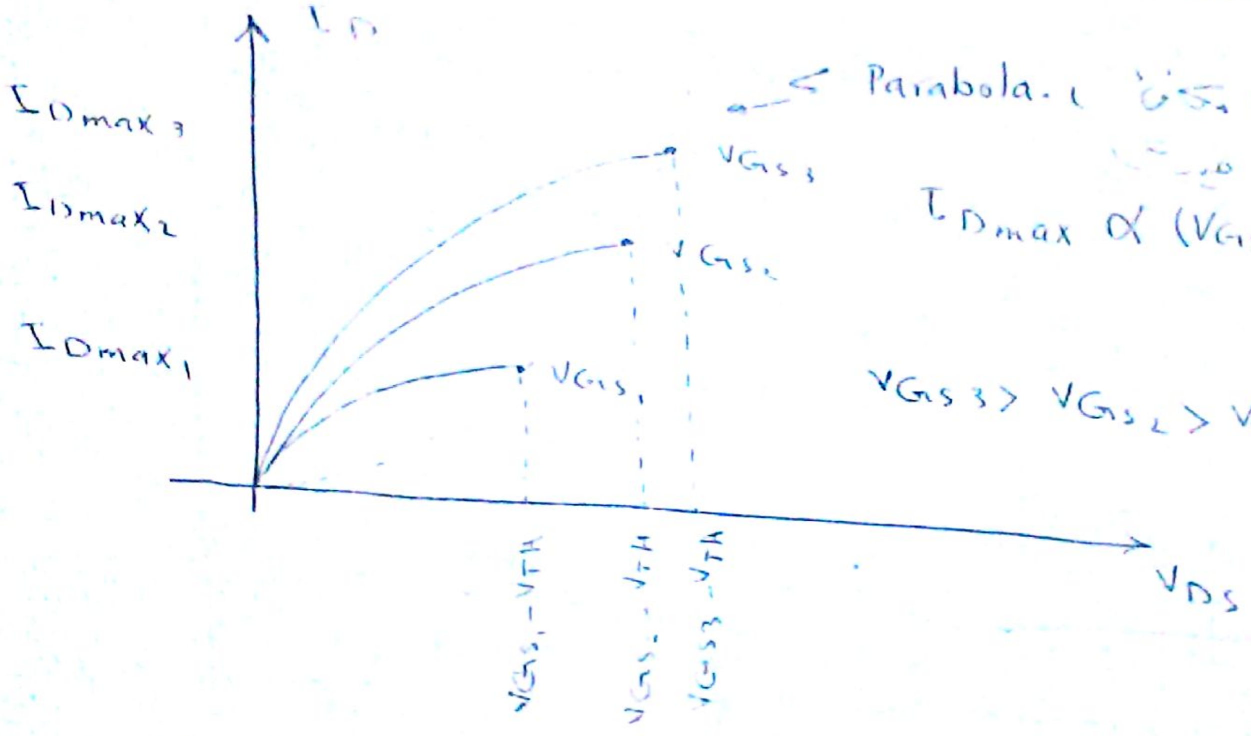
Plot $I_D - V_{DS}$ characteristics for different values of V_{GS}.

Solution

$\because I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} [2(V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - V_{DS}^2]$

$\therefore I_{Dmax} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2$

$\therefore V_{GS}$ increased $\therefore I_{Dmax}$ increased



Parabola. (قطع مكافئ)

$I_{Dmax} \propto (V_{GS} - V_{TH})^2$

$V_{GS3} > V_{GS2} > V_{GS1}$

نلاحظ أن العلاقة بين I_D و V_{DS} علاقة غير خطية لذلك لا يمكن تمثيل MOSFET كمقاومة

if $V_{DS} \ll 2(V_{GS} - V_{TH})$

$\therefore (V_{DS})^2$ is very small

$\therefore I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \times 2 (V_{GS} - V_{TH}) V_{DS}$

$\therefore I_D = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH}) V_{DS}$

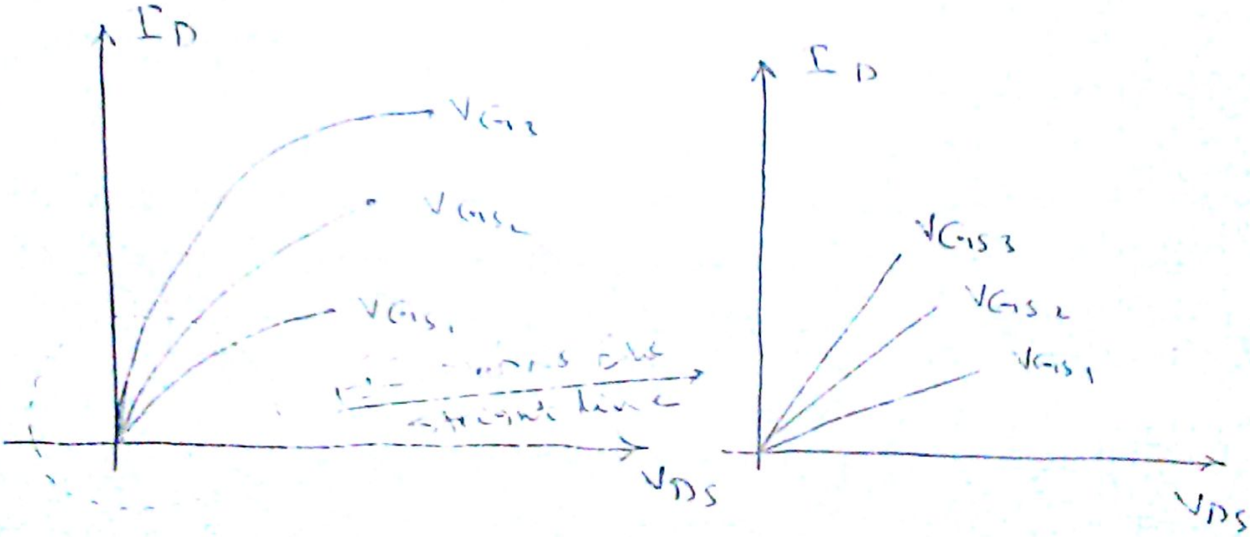
نلاحظ من هذه العلاقة أن العلاقة بين I_D و V_{DS} علاقة خطية

$\therefore R_{on}$ (on resistor) $= \frac{V_{DS}}{I_D}$

$$\therefore R_{on} = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})}$$

نلاحظ أن الـ MOSFET هنا يكون مثل مقاومة ... V_{DS} صغيرة جداً

لأن ... نقطة الأصل ... العلاقة بين I_D و V_{DS} تقريباً خطية



Note:

من هنا نجد (Ron) عندما تكون $V_{GS} = V_{TH}$

$\therefore R_{on} = \infty$

$\therefore$ MOSFET operating as electronic switch

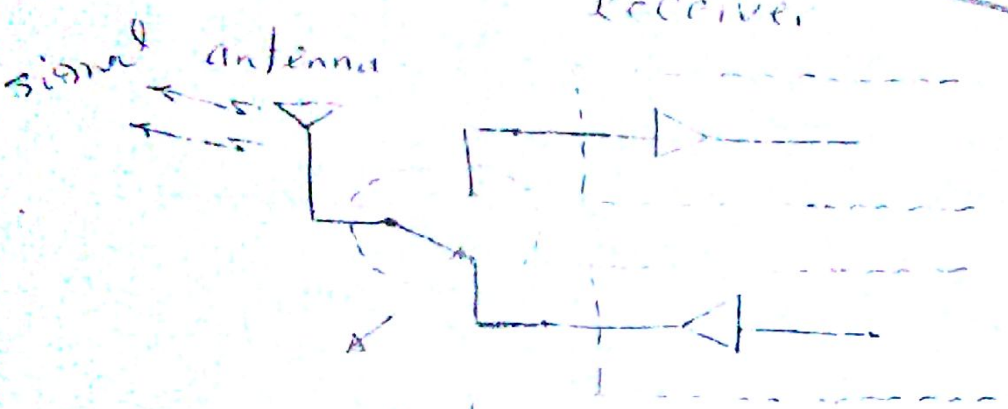
switch لذلك هيقدر ان يعمل MOSFET كأنه

EX.1.4 → مثال توضيحي

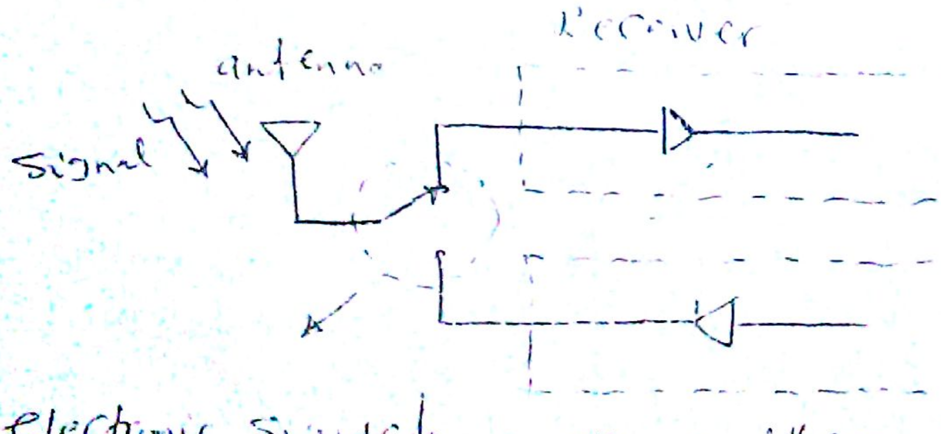
لاسلكي

a Cordless Phone incorporates a single antenna for reception and Transmission. Explain how the system must be configured.

<u>Solution</u>



هذا system مصمم
كي ان (Phone)
لتحميل الإشارة
في الوقت ويرسل في الوقت
الواحد . كل 20ms .



تم استخدام MOSFET لانها افضل من استخدام (switch)

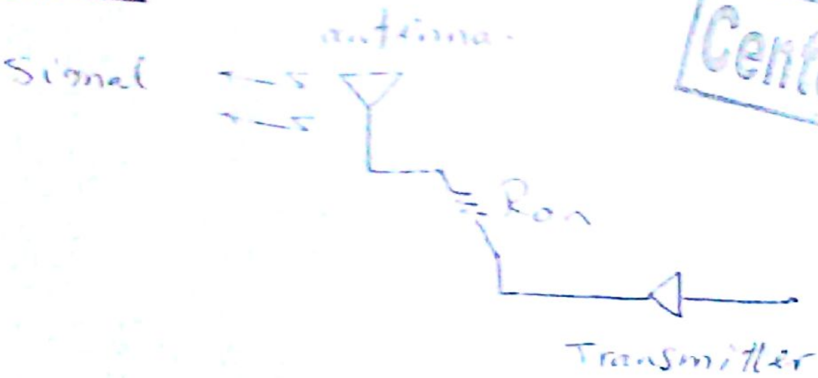
ولكن يجب ان تكون مقاومتها صغيرة جدا low resistivity

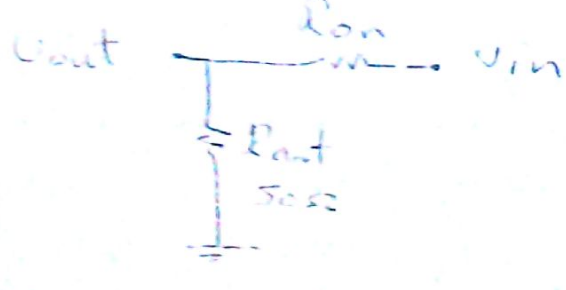
وذلك تتم عن طريق $W/L \uparrow$, $V_{GS} \uparrow$ $\Longleftarrow$ $R_{on} \downarrow$ ده

EX. 1.5

in the Cordless Phone of example 1.4 the switch connecting the Transmitter to the antenna must attenuate the signal, e.g. by no more than 10%. if $V_{DD} = 1.8\,V$, $\mu_n C_{ox} = 100\,\mu A/V^2$ and $V_{TH} = 0.4\,V$, determine the minimum required aspect ratio of the switch. assume the antenna can be modeled as a 50 Ω resistor.

Solution





$\therefore$ attenuation $\leq 10\%$

$\therefore \dfrac{V_{out}}{V_{in}} \geq 0.9$

$\therefore V_{out} = V_{in} * \dfrac{R_{ant}}{R_{ant} + R_{on}}$

$$\therefore \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_{ant}}{R_{ant} + R_{on}}$$

$$\therefore \frac{R_{ant}}{R_{ant} + R_{on}} \geq 0.9$$

$$\therefore R_{ant} \geq 0.9(R_{ant} + R_{on})$$

$$\therefore 0.1 R_{ant} \geq 0.9 R_{on}$$

$$\therefore R_{on} \leq \frac{0.1 R_{ant}}{0.9}$$

$$\because R_{ant} = 50\ \Omega$$

$$\therefore R_{on} \leq 5.6\ \Omega$$

$$\because R_{on} = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})}$$

$R_{on} \downarrow \quad \therefore V_{GS} \uparrow = V_{DD} = 1.8\,V$

$$\therefore R_{on} = \frac{1}{100 \times 10^{-6} \times \frac{W}{L} (1.8 - 0.4)}$$

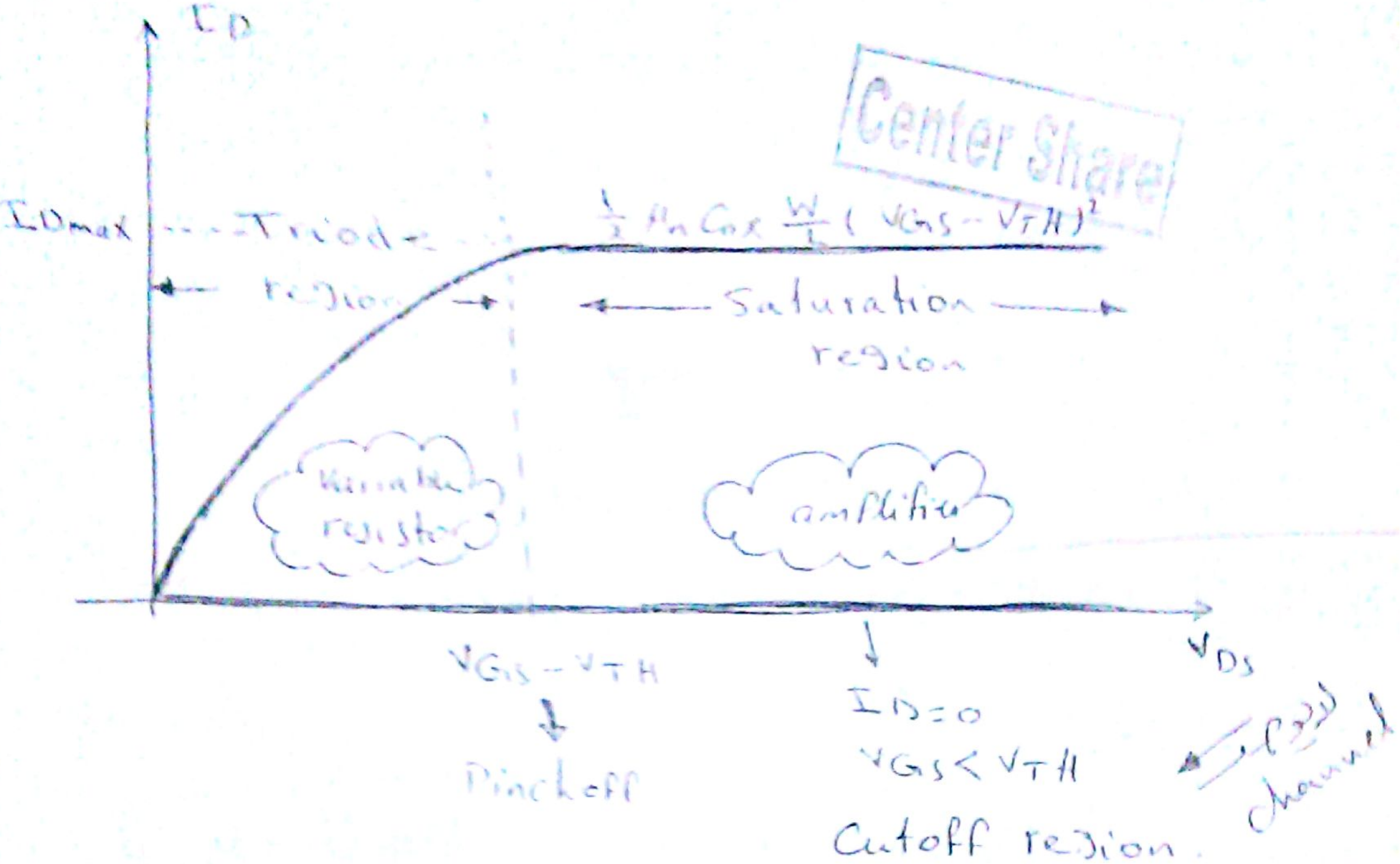
$$\therefore \frac{1}{100 \times 10^{-6} \times \frac{W}{L} (1.8 - 0.4)} \leq 5.6\ \Omega$$

$$\therefore 1 \leq 7.84 \times 10^{-4}\ W/L$$

$$\therefore W/L \geq 1276. \quad \therefore W/L_{(min)} = 1276$$

⇒ Triode and Saturation regions

$$\therefore I_D = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}\left[2(V_{GS}-V_{TH})V_{DS}-V_{DS}^2\right]$$



*** MosFET operate in Triode region or linear region when $V_{DS} < (V_{GS}-V_{TH})$

→ • if $V_{DS} \ll 2(V_{GS}-V_{TH})$ Called MosFET in deep Triode region and operate as resistor

$$R_{on} = \frac{1}{\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS}-V_{TH})}$$

*** MOSFET operate in saturation region

When $V_{DS} > (V_{GS} - V_{TH})$ and MOSFET drain current becomes constant or reaches saturation

ـزاي [illegible] MOSFET [illegible] (Saturation) [illegible]

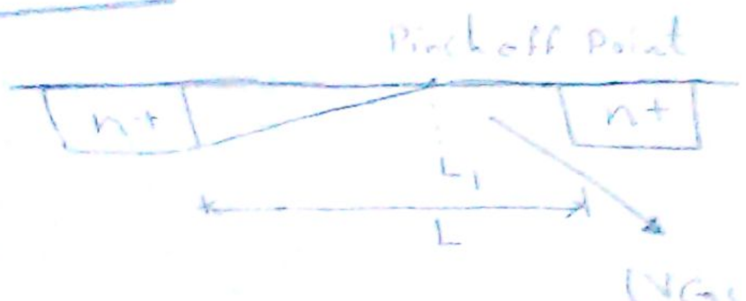
Drain [illegible] ؟

- If $V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$ → MOSFET (Pinch off)

if V_{DS} increased the Pinch off Point shift toward the drain.

[illegible] V_{DS} [illegible] Pinch off [illegible]

(Pinch off Point [illegible] (Drain)



($V_{GS} - V_{TH}$) [illegible]

[illegible] I_D [illegible]

$$\int_{x=0}^{x=L_1} I_D \, dx = \int_{V(x)=0}^{V(x)=V_{GS}-V_{TH}} \mu_n C_{ox} W \left[V_{GS} - V(x) - V_{TH} \right] dV(x)$$

$$\Rightarrow I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L_1} \left[V_{GS} - V_{TH} \right]^2 .$$

ملحوظة: بعد الـ pinch off ثابت الـ ID لا يعتمد على الـ VDS

Pinchoff في الـ saturation region ثابت (ثابتة)

يعني
I_D independent of V_{DS}

if $L \cong L_1$

$\therefore I_D$ (Drain saturation Current) $= I_{D\max}$.

<u>Note:</u>

$(V_{GS} - V_{TH})$ called (overdrive voltage)

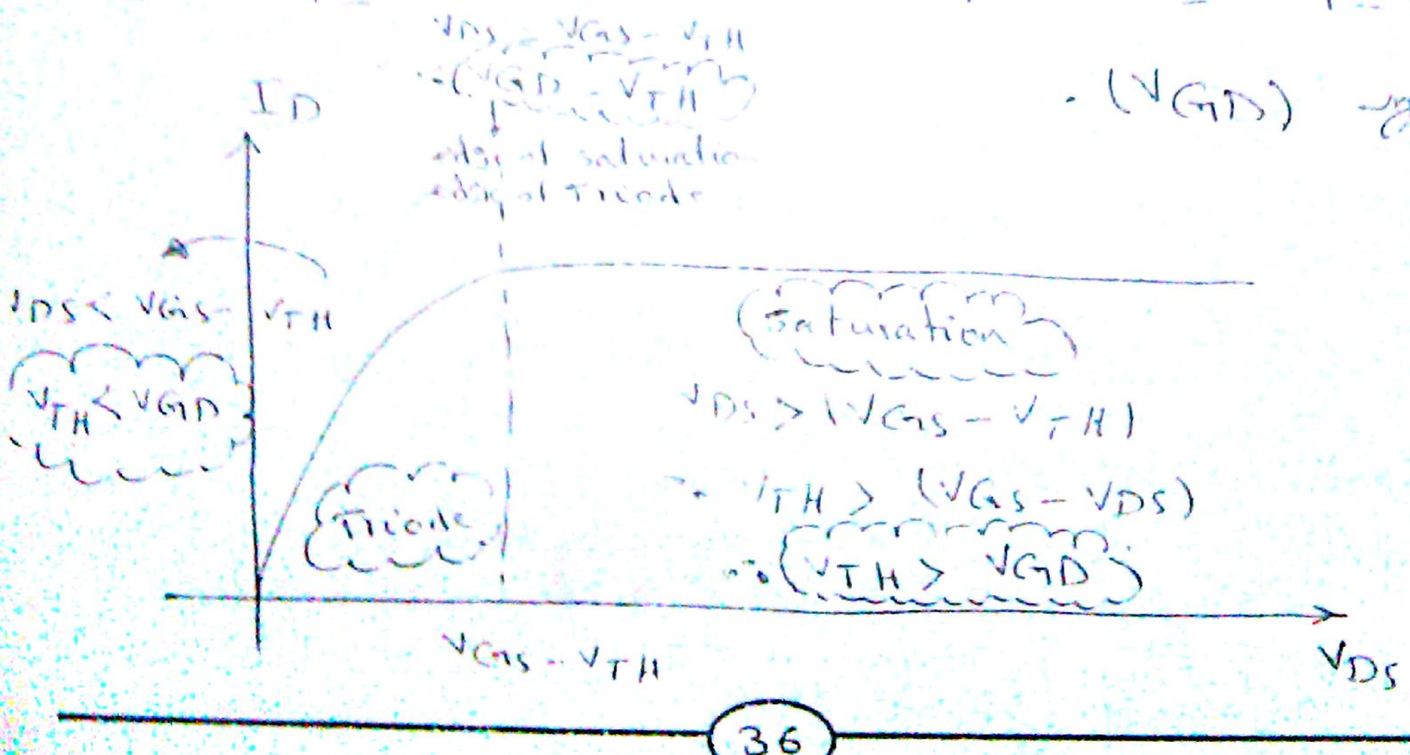
<u>Note:</u>

أحيانا
MOSFET sometimes called (square law)

device where $I_D \propto (\text{overdrive voltage})^2$

⇨ determine the region of operation

كيف تعرف عن طريق منحنى الـ (MOSFET) من خلال الطرف (V_{GD}).



- MOSFET $\Longrightarrow$ Saturation region

  $V_{GD} < V_{TH}$, $V_{GS} > V_{TH}$

- MOSFET $\Longrightarrow$ edge of saturation or edge of Triode

  $V_{GD} = V_{TH}$, $V_{GS} > V_{TH}$

- MOSFET $\Longrightarrow$ Triode region

  $V_{GD} > V_{TH}$, $V_{GS} > V_{TH}$

- MOSFET $\Longrightarrow$ Cutoff region

  $V_{GS} < V_{TH}$ No channel

- MOSFET $\Longrightarrow$ deep Triode region

  $V_{DS} \leq 2(V_{GS} - V_{TH})$, $V_{GS} > V_{TH}$

* MOSFET in saturation region operating as current source with current I_{Dmax}.

لو MOSFET Current Source يبقى (Saturation)

قيمته I_{Dmax}.

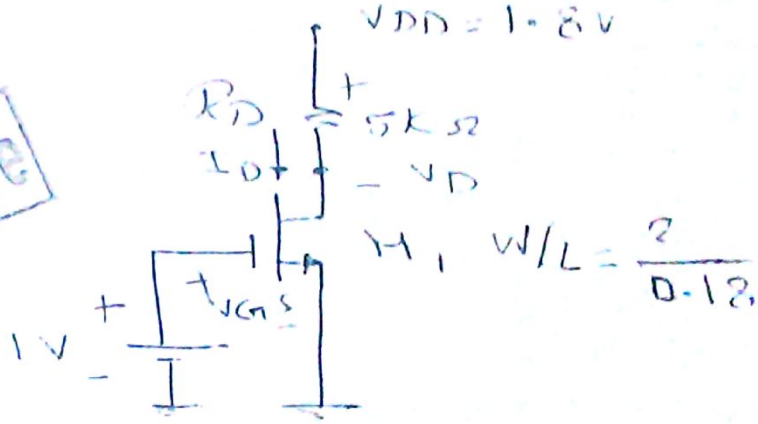
$$I_{Dmax} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2$$

$\therefore V_{GS} \uparrow \quad \therefore I_D \uparrow$

$\therefore$ MOSFET called Voltage Controlled Current Source.

E.X. 1-6

Calculate the bias current of M_1 in Fig. Assume the $\mu_n C_{ox} = 100\,\mu A/V^2$ and $V_{TH} = 0.4\,V$ if the gate voltage increases by $10\,mV$. What is the change in the drain voltage?



Solution

لأن مفتقدين إحنا عن معلومات نؤكد منها بأن الـ M عن نفترض

assume M_1 in saturation region.

$V_{GS} = 1\,V$

$$\therefore I_D = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$\therefore I_D = \frac{1}{2} \times 100 \times 10^{-6} \times \frac{2}{0.18}(1 - 0.4)^2 = 200\,\mu A.$$

لابد من إختبار الفرض السابق

$\therefore V_D = V_{DD} - I_D \times R_D$

$\therefore V_D = 1.8 - 200\mu A \times 5K\Omega = 0.8V.$

$\therefore V_{GD} = 1 - 0.8 = 0.2 < V_{TH}$

$\therefore$ MOSFET in saturation region.

- if $V_G = 1 + 10mV = 1.01V$

assume M_1 in saturation region.

$\therefore I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2$

$\therefore I_D = \frac{1}{2} \times 100 \times 10^{-6} \times \frac{2}{0.18} (1.01 - 0.4)^2$

$\therefore I_D = 206.7 \mu A.$

$\therefore V_D = V_{DD} - I_D \times R_D$

$\therefore V_D = 1.8 - 206.7 \mu A \times 5K = 0.766V$

$\therefore V_{GD} = (\overset{V_G}{1} - \overset{V_D}{0.766}) < V_{TH}$

$\therefore M_1$ in saturation region.

chang in V_D

$= 0.8 - 0.766 = 34 mV.$

مقارنات بسيطة بين ترانزستورات الـ MOSFET و BJT

BJT	MOSFET
edge of active or saturation $V_{BC} = 0$ or $V_{BE} = V_{CE}$	edge of saturation or Triode region $V_{GD} = V_{TH}$ or $V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$
$I_C - V_{BE}$ the relation is exponential	$I_D - V_{GS}$ the relation square law
in all BJT circuit have same dimentions	aspects ratio of each MOSFET may be chosen to satisfy the requirements
the Rin very low for Rin of MOSFET	the gate of MOSFET Draw no bias current so that Rin is very high

MOSFET

Power ↓